

УДК 624.131.4

**Физико-механические свойства пород вулкана Безымянный****В.М. Ладыгин<sup>1</sup>, О.А. Гирина<sup>2</sup>, Ю.В. Фролова<sup>1</sup>, В.М. Округин<sup>2</sup>**<sup>1</sup> МГУ имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, Москва, 119991,  
e-mail: skalka\_1@mail.ru<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Приведены и проанализированы химический состав, структурные особенности и физико-механические свойства различных генетических типов пород вулкана Безымянный – экструзивных куполов, пирокластических и лавовых потоков. Показано, что несмотря на близкий химический состав, вулканиды, образовавшиеся в различных условиях, обладают отличающимися друг от друга физико-механическими свойствами, что может способствовать расшифровке их генезиса.

**Введение**

Вулкан Безымянный известен не только своей историей развития [2, 6]. В отличие от окружающих его базальтовых вулканов (Толбачик, Ключевской, Камень, Зиминая), основными продуктами его извержений являются дацитовые, андезитовые или андезибазальтовые лавы, экструзивные купола и пирокластические потоки. Породы, образующиеся при этих процессах, значительно отличаются своими петрофизическими свойствами, что связано с условиями их образования – медленное выжимание вязкого расплава при образовании экструзивных куполов; достаточно быстрое излияние и остывание жидкого расплава при образовании лавовых потоков и взрывной выброс в воздух обломков застывшей магмы при эксплозивных извержениях [1, 7]. Разные условия формирования являются причиной существенных различий в свойствах данных пород.

Всего из различных вулканогенных образований отобрано и исследовано 262 образца (51 обр. – андезиты пирокластических потоков, 119 обр. – из экструзивных куполов, 92 обр. – из лавовых потоков). Отбор образцов проводился таким образом, чтобы охватить весь диапазон различных пород, отличающихся своим происхождением, но принадлежащих одному вулкану.

Все исследованные породы, различные по происхождению, имеют близкие величины плотности твердой фазы ( $\rho_s=2,7-2,8$  г/см<sup>3</sup>), которая, как известно, зависит исключительно от химического состава исходного магматического расплава. Некоторые вариации связаны с изменениями в структуре породы, поскольку стекловатая фаза имеет меньшие значения плотности по сравнению с кристаллической. Все другие физико-механические свойства пород – плотность, пористость, упругие характеристики, прочность – зависят только от условий кристаллизации магматического расплава [1]. Различия в условиях кристаллизации (скорость и время остывания магматического расплава, давление, газовая составляющая) приводят к разнообразию формирующихся структур – порфировые и афировые, гиалопилитовые и интерсертальные, реже микролитовые, что, в свою очередь, влияет на свойства пород. Что касается минерального состава, то во всех группах пород преобладают плагиоклазы и вулканическое стекло, в меньших количествах присутствуют рудные минералы, роговая обманка и/или пироксены.

**Пирокластические потоки**

Были опробованы пирокластические потоки, образовавшиеся в 1956, 1975, 1979, 1983, 1985 гг. (табл. 1). Особенностью пород пирокластических потоков являются очень низкие значения плотности, изменяющиеся в пределах от  $\rho_{\min}=1,35$  г/см<sup>3</sup> до  $\rho_{\max}=2,45$  г/см<sup>3</sup>. Все породы имеют близкие значения плотности твердой фазы  $\rho_s=2,71-2,75$  г/см<sup>3</sup>, что свидетельствует об одинаковом химическом составе извергнутого материала. Очень велика пористость пород – от 30 до 45%. Естественно, что обладая такой высокой

пористостью, породы характеризуются крайне низкими значениями прочности и скорости упругих волн.

Таблица 1. Физико-механические свойства пород пирокластических потоков

$\rho$	$\rho_s$	n	W	Vp	Vpv	Rc	Rcv	Rp	$\chi$	Год
г/см <sup>3</sup>	г/см <sup>3</sup>	%	%	км/с	км/с	МПа	МПа	МПа	$\cdot 10^{-3}$ СИ	
1,77	2,71	35	11,2	1,95	2,35	24	18	4,1	8,3	1985
1,87	2,75	30	8,2	1,9	2,3	29	29	4,1	7,3	1983
1,89	2,74	31	7,3	2,4	2,85	37	37	4,1	7	1979
1,84	2,73	46	7,7	2,35	2,72	39	37	4,1	7	1975
1,75	2,74	33	8,0	2,1	2,55	33	24	4,5	10	1956

### Экструзивные куполы

Экструзивные тела очень характерны для Безымянного вулкана. Они различны как по составу и структуре, так и по физико-механическим свойствам слагающих их пород [3, 4, 5]. По морфологии и степени эродированности куполы можно разделить на три группы:

1. Старые куполы, образование которых связано с начальным этапом деятельности вулкана, хотя они и мало похожи на экструзии (Гладкий и Правильный).
2. Типичные экструзивные куполы, сложенные более основными лавами (Ступенчатый, Двуглавый).
3. Молодые куполы, связанные по времени с деятельностью западного кратера (Экспедиция, Лохматый, Побочный).

Среди структур преобладают порфировая и серийно-порфировая типы; основная масса - гиалопилитовая, микролитовая, интерсертальная и микродолеритовая.

Как видно из таблиц химического состава (табл. 2) и петрофизических свойств (табл. 3), породы выделенных групп довольно различны. По химическим показателям первая группа четко выделяется повышенным содержанием SiO<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>O, пониженным TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO и CaO. Очень неоднородна третья группа, где явно повышено содержание MgO у пород экструзии Лохматый, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> у Экспедиции. Различия в химическом составе наблюдаются даже в пределах выделенных групп, в какой-то мере это отражается на петрофизических свойствах.

Таблица 2. Химический состав пород различных экструзивных куполов вулкана Безымянный

Группа	Экструзивные куполы	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
I	Гладкий	62,52	0,40	19,70	1,81	2,52	0,11	0,92	5,86	4,40	1,50
	Правильный	64,26	0,42	17,38	2,35	1,65	0,14	1,1	5,02	5,1	1,3
II	Ступенчатый	55,30	0,49	19,38	4,30	3,91	0,17	3,18	8,00	3,69	1,30
	Двуглавый	60,21	0,64	18,39	2,82	3,62	0,19	1,53	6,86	3,96	1,40
III	Экспедиция	59,28	0,55	15,38	5,89	3,59	0,1	1,93	6,86	3,63	1,37
	Лохматый	60,14	0,64	17,12	4,43	1,63	0,15	4,03	6,2	3,67	1,67
	Побочный	60,56	0,78	17,79	2,72	3,73	0,14	1,73	5,14	4,2	1,65

Таблица 3. Физико-механические свойства пород, слагающих различные экструзивные куполы

Группа	Экструзивные куполы	$\rho$	$\rho_s$	n	W	Vp	Vpw	Rc	Rcv	Rp	$\chi$
		г/см <sup>3</sup>	г/см <sup>3</sup>	%	%	км/с	км/с	МПа	МПа	МПа	·10 <sup>-3</sup> СИ
I	Гладкая	2,23	2,76	19	4,5	2,6	3,2	97	96	8	11
	Правильный	2,30	2,76	17	3,4	2,9	3,6	138	111	13	19
II	Ступенчатый	2,12	2,70	21	7,4	3,3	4,0	69	55	7,1	25
	Двуглавый	2,29	2,70	15	3,4	3,3	3,7	114	99	13	18
III	Экспедиции	2,08	2,70	23	7,0	2,2	3,2	61	48	4,8	21
	Лохматый	2,09	2,63	21	6,3	2,3	3,3	56	32	3,8	18
	Побочный	1,99	2,59	25	7,8	2,6	3,8	64	52	6,5	20,5

Петрофизические свойства более четко разделяют эти три группы:

1. Наблюдается четкое снижение величины плотности твердой фазы от первой группы к третьей: 2,76 - 2,70 - 2,64 г/см<sup>3</sup>.
2. Аналогичная тенденция наблюдается в изменении плотности пород: 2,26 - 2,20 - 2,06 г/см<sup>3</sup>.
3. Самыми низкими значениями плотности характеризуются породы третьей группы – менее 2,1 г/см<sup>3</sup>. Эти же породы являются наименее прочными ( $R_c=32-52$  МПа).
4. В породах третьей группы, по сравнению с двумя предыдущими, увеличивается величина водопоглощения.
5. Повышенные значения скоростей упругих волн (до 3,3 км/с) и магнитной восприимчивости (до  $25 \cdot 10^{-3}$  ед. СИ) характерны для пород второй группы.

Таким образом, данные о петрофизических особенностях пород позволяют достаточно определено разделить эти группы.

### Лавовые потоки

Наиболее мощные и протяженные лавовые потоки отмечаются на южном и юго-западном склонах вулкана. Лавы темно-серые, двупироксеновые, с большим количеством фенокристаллов плагиоклазов.

Изменение плотности андезитов лавовых потоков наблюдается в пределах 1,4-2,8 г/см<sup>3</sup> для пород с интерсертальной структурой и 1,7-2,7 г/см<sup>3</sup> для пород с гиалопилитовой структурой. Преобладающее количество образцов имеют плотность в пределах от 2,5 до 2,8 г/см<sup>3</sup> [8]. Пористость для андезитов с гиалопилитовой структурой варьируется от 3,5 % до 14,1%, а у образцов с интерсертальной структурой изменяется от 6,0 % до 21,9 %. Прочность на одноосное сжатие варьирует от 2 МПа до 240 МПа для андезитов с интерсертальной структурой, а с гиалопилитовой - от 40 МПа до 160 МПа. Хорошо прослеживается зависимость прочности от плотности. Она является экспоненциальной, и в целом одинакова для андезитов с интерсертальной и гиалопилитовой структурами (рис. 1).

Скорость распространения продольных волн в андезитах с интерсертальной структурой изменяется от  $V_{min}=1,4$  км/с до  $V_{max}=2,6$  км/с, а для гиалопилитовой структуры от  $V_{min}=1,8$  км/с до  $V_{max}=2,35$  км/с. Магнитная восприимчивость ( $\chi$ ) для андезитов с интерсертальной структурой изменяется значительно от 2,0 до  $14,0 \cdot 10^{-3}$  СИ, тоже самое наблюдается и у образцов с гиалопилитовой структурой, увеличиваясь до  $15,0 \cdot 10^{-3}$  СИ.

В целом можно отметить, что все лавовые потоки чрезвычайно разнообразны как по минеральному составу, так и по структуре слагающих их пород, и как следствие - различны по свойствам.

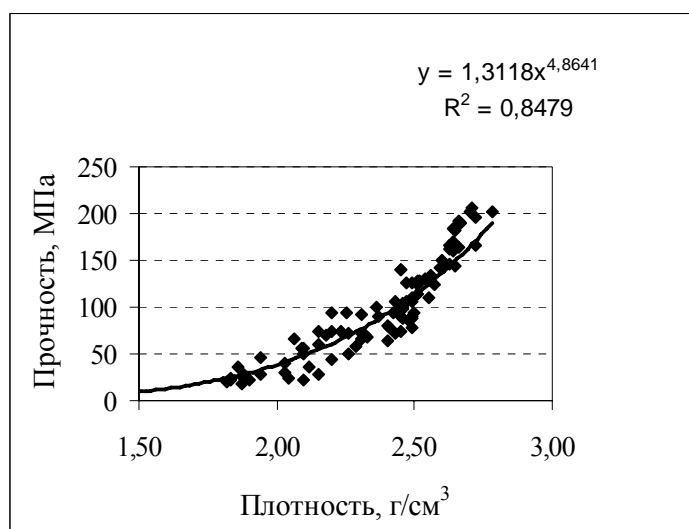


Рис. 1. Зависимость прочности на одноосное сжатие от плотности для пород лавовых потоков вулкана Безымянный.

### Выводы:

1. На примере Безымянного вулкана показано, что условия остывания и кристаллизации магматического расплава влияют на пористость, структурные особенности и физико-механические свойства формирующихся пород. Породы, образовавшиеся при различных вулканических процессах – эффузивных, экструзивных и эксплозивных, обладают различными физико-механическими свойствами. Таким образом, может быть решена обратная задача - использование физико-механических свойств пород для выделения среди них генетических групп.
2. Пористость пород убывает в ряду: пирокластические потоки - экструзивные куполы – лавовые потоки. Соответственно, в этом же ряду повышаются прочностные и упругие свойства.
3. Определенное влияние на все свойства оказывает структура породы – в одних случаях увеличивая показатели свойств, в других уменьшая.

### Список литературы

1. Богоявленская Г.Е. и др. Зависимость кристаллизации лав вулкана Безымянного от механизма извержения // Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток. 1976. С. 118-126.
2. Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. Двадцать пять лет вулканической активности вулкана Безымянного // Вулканология и сейсмология. 1981. №2. С. 3-13.
3. Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и его экструзивные образования // Бюллетень вулканологических станций. 1957. №26. С. 3-13.
4. Борисов О.Г. Экструзивные купола // Минералогия, магматизм и рудогенез Дальнего Востока. 1974. С. 16-29.
5. Борисов О.Г., Борисова В.Н. Экструзии и связанные с ними газогидротермальные процессы. Новосибирск: Наука. 1974. 198 с.
6. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.Е., Максимов А.П. Вулкан Безымянный: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1990. №2. С. 3-22.
7. Ермаков В.А. О характере дифференциации магм вулканов // Бюлл. вулканол. станции. 1974. № 50. С. 19-31.
8. Ладыгин В.М., Гирина О.А., Фролова Ю.В. Лавовые потоки вулкана Безымянный // Вулканология и сейсмология. 2012. № 6. С. 18-30.